

全国高等农业院校试用教材

昆虫生态及 预测预报

南京农学院主编

植 物 保 护 专 业 用

农 业 出 版 社

全国高等院校 试用教材

昆虫生态学及预测预报

南京农学院 主编

昆虫生态学及预测
预报

农业出版社

(京)新登字060号

全国高等农业院校试用教材

昆虫生态及预测预报

南京农学院 主编

农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路2号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米16开本 28.5印张 621千字

1985年11月第1版 1985年8月北京第6次印刷

印数 18,601—21,100册 定价 16.10元

ISBN 7-109-00909-2/S·895

统一书号 16144·2931

前 言

1977年11月在河北省涿县召开的全国高等农业院校植物保护专业教材会议上，责成我们编写《昆虫生态及预测预报》一书作为全国试用教材。1978年在江苏扬州江苏农学院召开了第一次编写大纲讨论会，到会的有北京农业大学、沈阳农学院、浙江农业大学、安徽农学院、华南农学院、西南农学院、湖南农学院、华中农学院、西北农学院等兄弟院校代表12人，会上讨论了本书的编写大纲及各章节的内容概况，并作了编写分工。初稿完成后分寄各兄弟农业院校及有关科研单位、生产部门征求意见，此后作了修改，其中部分初稿还曾在教学实践中进行过多次修改和补充。最后于1982年6月下旬邀集编写人张孝羲、李运甌、陈常铭、廖顺源、耿济国五同志，在南京农学院对书稿进行了全面审核，提出了定稿修改意见。在各编写人完成定稿后，由主编张孝羲、副主编李运甌负责进行了最后的审订并作文字润色。

由于编者学识、经验有限，在此初版书中，不论是原则性的还是偶然性的错误都在所难免，恳切希望读者在试用过程中提出宝贵意见，以便修订。

由于各兄弟院校所开设的课程或选修课程不尽相同，例如有的院校将昆虫生态内容安排在“普通昆虫学”课程中，有的则独立开设，有的开设“害虫预测预报原理和方法”等课程，所以在讲授过程中，可根据不同情况，选讲有关章节。

最后，我们衷心感谢曾为本书参加过部分工作的和对本书初稿提出过宝贵意见的各位同志。

编 者

1982年11月

主 编 张孝羲 (南京农学院)
副主编 李运甌 (华中农学院)
编著者 陈常铭 (湖南农学院)
廖顺源 (西南农学院)
耿济国 (南京农学院)
程遐年 (南京农学院)
张国安 (华中农学院)

目 录

前言

绪言.....	1
---------	---

第一章 昆虫的几个主要生物学特性	4
------------------------	---

第一节 昆虫的生长发育特性	4
---------------------	---

一、昆虫的生长	4
---------------	---

二、昆虫的发育	6
---------------	---

三、环境因素与昆虫生长发育的联系	13
------------------------	----

第二节 昆虫的休眠与滞育	15
--------------------	----

一、昆虫休眠与滞育过程中的生理状况	15
-------------------------	----

二、昆虫的休眠	16
---------------	----

三、昆虫的滞育	17
---------------	----

第三节 昆虫的繁殖特性	17
-------------------	----

一、卵子的发育和产卵	25
------------------	----

二、精子的发生	27
---------------	----

三、交尾和授精	27
---------------	----

四、受精和不孕	29
---------------	----

第四节 昆虫的扩散和迁飞规律	31
----------------------	----

一、昆虫的扩散特性	31
-----------------	----

二、昆虫的迁飞（迁移）特性	32
---------------------	----

第二章 气候因素对昆虫的影响	45
----------------------	----

第一节 温度	45
--------------	----

一、昆虫对温度条件的适应性	45
---------------------	----

二、温度对昆虫生长发育的影响及有效积温法则	48
-----------------------------	----

三、温度对昆虫生存的影响	55
--------------------	----

四、温度对昆虫繁殖的影响	60
--------------------	----

第二节 湿度和降雨	61
-----------------	----

一、湿度的作用方式	62
-----------------	----

二、湿度对昆虫的影响	63
------------------	----

三、降雨对昆虫的影响	64
------------------	----

第三节 温、湿度的综合作用	65
---------------------	----

第四节 光和辐射	67
----------------	----

一、光的性质和强度对昆虫的影响	67
-----------------------	----

二、光照周期与昆虫生活的关系	69
----------------------	----

第五节 气流与风对昆虫的影响	70
----------------------	----

第六节 小气候的影响	71
第三章 土壤环境与昆虫的关系	73
第一节 土壤气候对昆虫的影响	75
第二节 土壤的理化性状对昆虫的影响	79
第三节 土壤特性对地面植食性昆虫的影响	82
第四节 土壤有机物和昆虫	83
第四章 生物因素与昆虫的关系	86
第一节 生物因素的基本概念	86
一、食物链和食物网	86
二、生物群落、生态系统和农业生态系统	87
三、种间竞争和种内竞争	92
四、生物因素对昆虫的生态效应	94
第二节 食物	96
一、昆虫的营养需要和对食物的适应	96
二、食物对昆虫的影响	98
三、植物对昆虫的适应和植物的抗虫性	99
四、昆虫与食料联系的化学、物理信息传递	106
第三节 昆虫的天敌及影响捕食和寄生的若干因素	107
一、天敌昆虫	107
二、影响天敌昆虫捕食或寄生效果的因素	109
三、天敌昆虫和寄主之间的化学信息传递	111
四、其他捕食性天敌	113
五、天敌参数	113
六、昆虫的致病微生物及影响昆虫疾病流行的因素	122
第五章 农业活动对昆虫的影响	127
第一节 农业活动对生物群落演替的作用	127
第二节 农业活动对昆虫种群的影响	129
一、改变耕作制度对昆虫种群的影响	129
二、调节作物播种期对昆虫发生期、发生量的影响	131
三、作物的耕作方式对昆虫种群数量的影响	134
四、作物品种的抗虫性、感虫性对昆虫发生量的影响	134
五、作物栽培措施对昆虫种群数量的影响	135
六、施用农药对昆虫种群数量的影响	137
七、农产品及果树苗木的运输、天敌昆虫的引入和保护利用对昆虫群落组成的影响	139
第六章 昆虫的种群及其数量变动规律	141
第一节 种群的基本概念	141
第二节 种群的结构	142
第三节 种群中个体的空间分布型	145
一、分布型指数及其在生物学上的意义	146
二、频次分布方法	152
第四节 昆虫种群动态类型的划分	157

一、种群在地理上(或栖息地区)的数量分布动态	157
二、种群密度的季节性消长类型	158
第五节 种群数量动态的剖析	159
一、种群数量动态的基本模型	159
二、种群的基数及估测方法	160
三、种群的出生率(natality)和增殖速率(reproductive rate)	166
四、种群的死亡率	169
五、种群的迁移率	170
第六节 种群的生长速率和生长型	172
一、世代离散性生长模型	172
二、世代重叠的连续性生长模型	175
三、种群生长的时滞模型	182
第七节 种群生命表的编制和分析方法	184
一、生命表的一般概念及常用参数、符号	184
二、内禀增长能力的概念及计算	188
三、生命表的类型	191
四、生命表的编制和数据的获得方法	194
五、种群数量趋势指标(I)的分析	202
六、关键因素或关键阶段的分析	203
七、种群的系统化模型	207
八、Leslie转移矩阵及其在生命表上的应用	212
第八节 害虫预测预报中的数学模型	217
一、数学模型的类别	218
二、数学模型实例	220
三、组建数学模型的过程	224
四、模型的用途	227
第九节 种群的生态对策	228
一、生态对策的类型及其一般特征	229
二、栖境特性与生态对策的关系	233
三、生态对策与种群动态	234
四、生态对策与防治策略	236
第十节 种群数量消长的原因分析	237
一、生物学派	237
二、气象学派	238
三、综合学派	239
四、自动调节学派	239
五、自然调节的进化意义	240
第七章 农作物害虫调查方法和资料统计分析	242
第一节 总体、样本及常用的抽样方法	242
一、总体与样本	242
二、常用的抽样方法和抽样单位	242
第二节 调查和实验数据的性质及整理	245

一、调查和实验数据的基本特点	245
二、连续性变数的精确度	245
三、调查和实验数据的表示法	246
四、调查和实验数据的统计代换	247
第三节 样本的几个重要特征数及其计算方法	248
一、平均数	248
二、众数	255
三、中位数	256
四、标准差	257
五、变异系数	260
六、平均数标准差	261
七、百分率的标准差	261
第四节 平均数的显著性测验 (t -测验) 和平均数的置信区间 (置信限) 的估计	262
一、平均数的显著性测验 (t -测验)	262
二、平均数的置信区间 (置信限) 的估计	264
第五节 两个平均数或百分率之间的差异显著性测定	265
一、两个平均数之间的差异显著性测定	265
二、两个百分率之间的差异显著性测定	268
第六节 三个及多个平均数或百分率之间的差异显著性测定——方差分析方法	269
一、单因素多组群的方差分析	269
二、两因素的方差分析	276
第七节 符号检验及秩和检验	283
一、符号检验	283
二、秩和检验	283
第八节 抽样方法及理论抽样数的确定	284
一、抽样方法	284
二、理论抽样数的确定	288
第九节 序贯抽样	293
一、调查对象为正二项分布型	294
二、调查对象为潘松分布型	296
三、调查对象为负二项分布型	297
第八章 害虫预测预报的方法	300
第一节 农作物预测预报概况	300
一、农作物害虫预测预报的目的和意义	300
二、农作物害虫预测预报的类别	300
三、害虫预测的方法	301
四、我国害虫测报工作的发展概况	302
第二节 发生期预测	303
一、发育进度预测法	303
二、期距预测法	317
三、有效积温预测法	320
四、物候预测法	325

第三节 发生量预测	326
一、有效基数预测法	326
二、气候图预测法	328
三、经验指数预测法	330
四、形态指标预测法	333
第四节 迁飞性害虫的预测方法	334
第五节 害虫危害程度预测及产量损失估计	335
一、蛀食性害虫造成的损失估计	337
二、食叶性害虫造成的损失估计	339
三、刺吸式害虫造成的损失估计	340
第六节 害虫的经济损害水平和经济阈值	343
一、害虫数量、为害量与产量损失的关系	347
二、害虫防治的投资与收益	348
三、害虫经济阈值的测定与应用方法	350
四、应用害虫经济阈值指导害虫防治工作和有关研究涉及的方面	357
第九章 数理统计预测法	360
第一节 相关与回归及其分析步骤	360
第二节 选择预报因子的原则	361
第三节 线性相关与一元线性回归式的建立及其应用	362
一、选取预报因子	362
二、相关系数的计算	362
三、一元线性回归式的建立和应用	365
四、回归线的精度	367
五、一元线性回归的方差分析	369
六、利用相关表计算直线回归方程	370
七、等级相关计算法	373
第四节 曲线回归式的建立和应用	374
一、一些常见的函数图形及其直线化的方法	375
二、曲线回归式的建立和应用的一般步骤	378
三、曲线回归式建立的实例	379
四、相关指数和配曲线检验	381
五、求曲线相关率及方差分析	383
第五节 多元回归式的建立和应用	385
一、多元线性回归的计算和应用	385
二、将多因子转换为单因子法	388
三、单相关回归机率加权综合法	388
四、复相关分析	392
五、偏相关分析	393
第六节 其他统计预测方法	394
一、多因子综合相关法	395
二、分档统计法	400
第七节 多元回归中主导因子的确定	403

一、主因子筛选法	403
二、符合筛选法	404
三、标准回归系数 (b') 法	405
四、偏回归平方和法	406
第八节 多元回归分析的一个完整实例	408
第九节 逐步回归分析方法	412
一、“最优”回归方程的选择	412
二、逐步回归分析方法的具体步骤	414
第十节 预测预报质量的评定	425
一、预测预报质量评定的目的	425
二、预测预报质量评定的方法	425
三、列联表法	426
附表一 t 值表 (两尾)	428
附表二 F 检验的临界值 (F_{α}) 表 (一尾)	429
附表三 符号检验表	434
附表四 秩和检验表	434
附表五 相关系数检验表	435
附表六 ρ 和 r 对照表	435
附表七 等级相关检验表	436
附表八 χ^2 分布表	436
附表九 复相关系数检验表	437
附表十 多重比较中的 q 表	438
附表十一 随机数字表	440
附表十二 $x = \sin^{-1} \sqrt{p}$ 变换表	442
主要参考文献	444

绪 言

昆虫生态学的起源、发展与整个动、植物生态学的发生发展是不可分割的。生态学研究的内容,虽然由于狩猎、捕鱼、集食等活动的需要而在人类的自然史和发展史中早有记载。如我国蝗虫和水、旱的关系最早记录于公元前 707 年的《春秋》一书中,但生态学观念的发展,直至应用于人口学以前,是很缓慢的。Graunt 1662 年最早认识到出生率、死亡率和人类种群年龄结构对人口数量估测的重要性,并首次用来预测。他指出,在无迁入的情况下,英国伦敦人口可在六十四年后翻一番。Leeuwenhoek 1687 年第一个研究了昆虫的理论增殖率,计算出一对埋葬虫经三个月后,可生产 746,496 头的结果。后来,

Malthus 1798 年的《人口论》,以及 Darwin 1859 年的自然选择和适者生存等概念都使生态学的观点得到迅速发展。但是给生态学下一个明确的定义,还是在 1869 年为德国的生物学家 Haeckel 所创造,他认为“生态学是研究动物与其他生物的和非生物的环境总关系的科学”。这个定义有很广泛的含义,以至大多数生物科学都与生态学有关。后来虽然又有不少科学家先后给生态学下过不同内容范围的定义,但 Haeckel 的定义还是比较广泛地为人们所接受的。至二十世纪三十年代后,随着数学、物理学、电子技术及系统科学的发达和渗透,生态学得以向深度和广度迅速发展。总结其发展的特点有:

1. 从描述生态向实验生态及物质定量方面发展

十九世纪以前大多是以野外调查资料来描述自然界动物、植物的组成和演替现象,是描述生态阶段。十九世纪末到二十世纪初实验生态得到发展,如研究动、植物的发育积温,人工气候与动、植物生长、发育、生产力间的关系等,至今仍为重要的研究手段和领域。随着数学、物理、化学、电子技术、系统科学的发展,愈来愈重视物质的定量工作,包括研究宏观的数量结构变动和微观的化学量变动,如生态系统中的生产者、消费者和分解者之间物质循环的能量关系、化学信息关系、生物量关系,以及构成食物链的各个种群在时间、空间中的变化量,等等。能流是衡量系统的结构和功能效力的标准,以能流为基础可以将能量、物质、劳力和价值等这些不同性质的单元联系起来,便于建立一个地区系统的模型。

2. 从个体向复合系统的广度发展

生态学逐渐从个体生态向种群生态、群落生态和生态系统的研究方向发展。从认识个体适应性发展到认识系统的结构、功能和生产力,既是方法论上的发展,也是认识论上的提高。群体决不是个体的简单累加。同样,生态系统也不是种群或群落的简单聚合,每高一级的单元,都有它自己独特的结构特性,正如农田、森林、湖泊江河是一种亚生态系

统，它们通过相互影响作用，构成了一个大的生态系统。

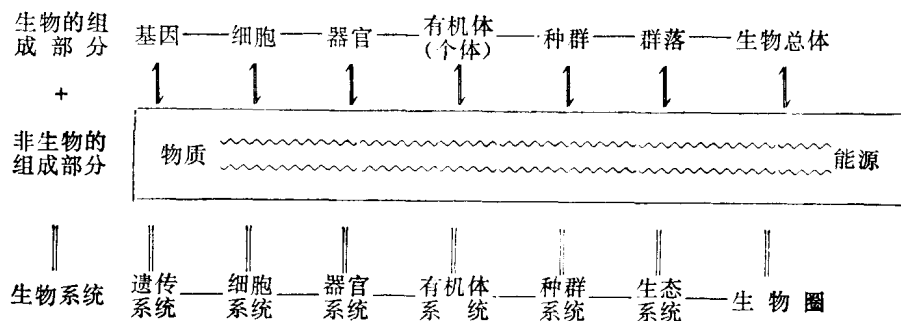
3. 协同进化论观念的发展

有机体与环境条件之间的关系不是独立的或相互对立的，而是一种协同进化的关系。把环境看作资源，有机体通过复杂的生理代谢过程，与环境之间相互补充资源。因此，一种生物的进化决不是孤立的，而是与环境资源共同进化的结果。只有不断地、有计划地培养环境资源，才能长期地、稳定地发挥资源的作用。协同进化的观念不但是一个学术理论问题，而且也是一个生产问题，它正影响着生产管理设计的指导思想，成为国内外农业绿色革命的重要理论之一。

4. 向多学科性方面发展

学科间的相互渗透是现代自然科学发展的特点。生态学与其他生物科学相互渗透，形成了遗传生态学、生理生态学、细胞生态学及形态生态学等，从而推动了生物科学的发展；生态学与近代自然科学相互渗透，形成了数学生态学、物理生态学、化学生态学；生态学与地理科学相结合，形成了海洋生态学、湖沼河川生态学等；生态学与其他应用科学相结合，形成了农业生态学、土壤生态学、森林生态学、草场生态学等；生态学与人类活动、社会经济学相结合，出现了经济生态学、污染生态学等，促进了环境科学的兴起。因此，现代的生态学已不是单一的植物生态学及动物生态学，它有着向多科学分支方向发展的新趋势。

从生态学的发展情况出发，Odum 1971 年认为，现代生态学的范围，应当看作各种有机体水平与相应的物理环境（能源和物质）相结合，而形成了不同水平的特定的功能系统。所谓的有机体水平，一般可分为群落、种群、个体、器官、细胞、基因，或称为生物系列（biological spectrum）。系统可看作为各组成部分有规则地相互作用、相互依赖而形成的一个整体。特定功能系统也可称为各种水平的生物系统（biosystem）。生物系列、环境与特定的功能系统间的关系，如图所示。



生物系列、非生物环境与生物系统间的关系图

(据Odum 1971年图修改)

必须指出, 这些系列或系统之间没有固定的划分界线, 如个体不能长时期地脱离种群而生存, 器官也不能长时期地离开有机体而存活。但一般习惯的划分是有机体(个体)以上的系统为生态研究的范畴。也不能认为某一水平比另一水平重要或更有科学价值, 或更高深些, 等等。因为每一系列或系统都有其独特的内容和研究方法, 都是组成整个生命系统所不可缺少的环节。还必须指出, 虽然一个水平的科学进展将有助于其他水平的研究进展, 但某一水平的所有研究内容并不能完全解释或解决另一水平中的现象和问题。因此, 常不必等待从左向右的顺序式的研究, 而应在可能范围内齐头并进地对这些生物系统开展研究。

昆虫生态学是整个生态学中的一个重要部分, 其研究进展与整个生态学的发展是完全一致的。一般在五十年代以前偏重于个体生态的研究, 六十年代后开始发展到研究昆虫种群生态、生物群落和系统生态。特别是在七十年后, 由于环境保护和害虫综合治理工作的广泛开展, 更显得不能孤立地研究昆虫生态, 而是要向综合性更强的方向开展工作, 研究昆虫种群、群落与其周围生物的和非生物的环境系统间的种种联系和规律, 即向生态系统和生物圈的方向发展。

害虫预测预报则是要求在害虫发生前预先估测其未来的发生期迟早、发生数量多少, 对作物危害的轻重, 以及分布、扩散范围等; 并在掌握一定时间和空间范围内害虫数量变动规律的基础上, 再进一步研究出便于群众掌握的测报指标和方法。而要进行害虫预测预报工作, 就要求不但要有丰富的生态学基础知识, 而且要有一定的生理学、生物学和数理统计等知识。与预测预报有关的生理、行为等生物学科主要有: 昆虫的发育生物学, 包括对昆虫生长、变态、休眠和滞育等特性的研究; 昆虫的繁殖生物学; 昆虫行为学; 昆虫的迁飞和扩散, 以及昆虫种群的结构、群体分布和生长型等。

要研究和拟订正确的测报办法, 还必须采用正确的调查抽样和试验方案, 对所得的数据资料还必须运用正确的统计分析方法加以整理、分析, 才能得出并找到符合客观实际的结论和办法。

本书的内容包括昆虫生态和预测预报两大部分, 生态学部分是偏重于为预测预报部分打基础的。因此, 我们拟订了以下的编写体系: 第一章为有关生物学特性; 第二至六章为昆虫的数量和分布与外界环境因素间的关系, 昆虫种群的结构, 空间分布型, 数量消长模型等; 第七章为抽样调查和资料整理分析方法; 第八章和第九章为害虫的预测预报方法。

第一章 昆虫的几个主要生物学特性

第一节 昆虫的生长发育特性

昆虫的生长和发育状况是害虫预测预报中的一个重要指标。它指示着害虫未来的发生迟早或发生多少。昆虫的生长主要表现在体重、体长或体宽的增长，以及体内细胞数量或体积的增大方面。昆虫的发育，就是指昆虫从卵中孵出到成虫性成熟止在形态上所发生的变化，这种现象也称为“变态”。可以将这些生物学指标应用到预测预报中去。

一、昆虫的生长

昆虫的生长，跟其他有机体一样，主要是吸收了外界营养物质，经过同化和异化作用，部分物质变成了昆虫体本身的一部分。生长也就是虫体内有生命物质的净增加过程。昆虫是由细胞组成的有机体，所以，归根到底，生长是一定时间细胞的分裂，即细胞数目的增多；分裂后，细胞又长到原来的大小，也即细胞体积的增加。生长在外部表现为体重、体长或体宽的增长。可以应用这些能够测量的特征，作为发生期、发生量预测的生物学指标。

体重 昆虫生长发育期间体重的变化是十分显著的，如家蚕 (*Bombyx mori*) 幼虫从出卵至幼虫老熟为止，体重竟可增加达万倍左右。同一虫态或虫龄，由于不同的外界环境条件，影响到昆虫体内同化、异化作用的速率，其表现在体重上也有差异。特别是蛹期的体重，既可反映幼虫期营养等环境条件的优劣，也预示着未来成虫期的生活力和繁殖力强弱。例如粘虫 (*Mythimna separata*) 蛹重和未来的羽化率、雌成虫寿命、产卵数呈正相关的情况就是有力的证明 (表1.1)。

表 1.1 粘虫蛹重与生活力、繁殖力的关系

(广东 鉴江)

平均蛹重 (毫克)	羽 化 率 (%)	雌成虫寿命 (天)	平均每头雌蛾产卵数 (粒)
352.7	80.0	10.6	428.0
313.0	77.7	6.8	212.2
283.0	73.3	6.3	142.6
244.2	61.3	7.7	88.1
180.5	14.3	1.0	0.0

三化螟 (*Tryporyza incertellus*) 越冬幼虫 体重和越冬死亡率的关系也十分密切。据华南农学院的研究, 越冬三化螟幼虫体重小于20毫克的, 越冬期间 100 % 死亡; 幼虫体重 20—49.9毫克的, 死亡率65.6—80.6%; 幼虫体重50—70毫克的, 死亡率51.7—57.1%; 体重大于70毫克的, 死亡率为33.3%。所以体重也可用作发生量预测的指标。

昆虫幼(若)虫期体重的增长, 在各龄期间是不同的, 是按有规律的几何级数增加的。由此可理解昆虫在各龄期间的取食量也是不同的。龄期越大, 取食越多, 体重增加也越快, 而且往往有一定的暴食临界期。例如稻纵卷叶螟 (*Cnaphalocrocis medinalis*) 的逐龄食量 (表1.2)。

表 1.2 稻纵卷叶螟第三代幼虫各龄食量

龄 期	一	二	三	四	五	合 计
食叶面积 (cm ²)	0.144	0.244	0.87	3.45	17.84	22.55
相对百分率 (%)	0.63	1.1	3.9	15.3	79.1	100

由表1.2可见, 稻纵卷叶螟四、五龄的食量占全期总食量的 94.4 %, 也就是第三代幼虫从第四龄开始进入暴食期。但代次(季节)不同, 幼虫的暴食临界期也可以有差别。例如稻纵卷叶螟第二代则要到第五龄时, 食量才猛增到占总食量的89.6%。这就是为什么防治这类害虫, 必须掌握在暴食期以前的道理。因此, 测定和分析不同害虫在不同季节中的暴食临界期, 是确定某种害虫防治适期的重要依据之一。

体长、体宽(头壳宽)的增长 幼虫在生长过程中都有蜕皮的特点。这是昆虫幼期生长的标志之一。昆虫为外骨骼动物, 它的外表皮由柔软的节肢蛋白鞣化为坚硬的骨蛋白而成, 形成后坚硬而不能延展。因此, 当虫体其他部分增大的时候, 表皮就妨碍了生长, 这样就要在旧表皮下面先形成柔软的新表皮, 然后脱去旧表皮, 趁新表皮还处于柔软状态(当时外表皮还没有形成)的时候, 虫体很快长大(这是虫体长大最快的时期), 等外表皮硬化后就很少长大或几乎不长大了, 要到下次蜕皮时再突然长大。所以幼虫的生长速度是不均衡的。这样我们可以按体长或头宽来辨别幼虫的龄期。特别是头壳的宽度, 因在各龄期之间有一定的间隔, 更易于作为区分龄期的依据。

在测报工作中, 调查虫龄分布以确定发生进度, 经常用体长和头壳宽度作为一种标准。例如, 我们在江苏省南京测量小地老虎 (*Agrotis ypsilon*) 幼虫1—6龄的头宽变化如表1.3。

有些昆虫, 如甘蓝夜蛾 (*Barathra brassicae*) 幼虫期密度过大时, 即使有充足的食料, 其蛹体也要变小, 重量减轻, 羽化的成虫产卵前期延长, 而飞行能力却加强, 便于迁移。显然, 这是种群密度主动调节的一种适应性。

细胞组织的生长 从细胞组织学角度来看, 幼虫各器官的生长是不一样的, 可分三种类型: ①细胞大小的增加, 即细胞及细胞核数量不变, 仅仅是细胞质的增加; ②细胞数目经细胞分裂而增加; ③细胞间大小的增加, 即细胞核本身变化不大, 而细胞间质增加。如

表 1.3 小地老虎各龄幼虫头壳宽度

龄 期	平 均 头 壳 宽 度 (mm)	生 长 率 (下龄头宽/上龄头宽)
一	0.31 ± 0.01	—
二	0.53 ± 0.01	1.79
三	0.87 ± 0.02	1.63
四	1.41 ± 0.05	1.62
五	2.15 ± 0.06	1.57
六	3.42 ± 0.14	1.55

生殖器官中卵巢管的生长，主要是细胞分裂，数目不断增加，属于第②类；而许多鞘翅目昆虫脂肪体的生长，则主要是细胞及细胞核大小的增加，细胞数目变化不大，属于第①类。所以，也可以利用这些内部细胞组织的变化状况，来作为害虫预测中的生物学指标。如棉铃虫 (*Heliothis armigera*) 的测报中，可根据卵巢管和脂肪细胞的生长发育状况，预测下代的发生期；而麦盾椿象 (*Erygaster interceps*) 测报中，则可根据体内脂肪体细胞的生长质量，预测下代的发生量。

二、昆虫的发育

当受精卵产下后，卵内物质开始分裂，即卵中胚胎发育开始。昆虫在卵内发育的阶段，称为“胚胎发育阶段”；从卵孵出幼虫后继续发育到成虫期性成熟的阶段，称为“胚后发育阶段”。

(一) 昆虫胚胎发育的过程及其分级标准 受精的卵细胞在卵壳内要进行一系列生长发育，即卵细胞核的分裂，幼体的各种器官组织的形成，最后发育成为幼(若)虫而破壳孵出。这整个胚胎发育的过程，也反映在卵壳外表颜色的变化情况，预测未来的孵化进度。这对于以卵态过冬(如飞蝗)或卵期较长(如飞虱类等)的昆虫的发生期预测有特别意义。昆虫的胚胎发育一般可有以下几个过程。

· 胚盘期 受精卵的卵细胞核进行分裂，经分裂的子核在积累了足够数目以后，便向卵的表面移动，并形成一层细胞，这一细胞层也叫做“原胚层”(图1.1)。

· 胚带期 原胚层在腹面或末端的细胞层开始增多，形成胚带。胚带将来就发育成胚胎。胚带处的细胞剧烈分裂而增多、增长，可以清晰地分出膨大的原头和伸长的原躯干两部分。此时一般在卵壳外表可以目测到卵色比原初产下时有所变化，也可以此开始区别受精卵(变色)和未受精卵(不变色)(图1.2、1.3)。

· 胚带分节和附肢形成期 胚带长度不断增长，同时，胚带自前向后发生一系列凹陷而开始分节至明显分节。以后又从头部到胸部，最后到腹部逐渐长成附肢突起(附肢原基)(图1.4、1.5)。

· 反转期 胚体在卵中向侧面和上面作180度的旋转，使胚体的头部向上，腹面和卵的